

*С.Л.РЯГІН***ВРАХУВАННЯ КОМБІНАЦІЙ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАГ
ПРИ СТВОРЕННІ СИСТЕМИ НОРМ ЯКОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ
МОСТОВИХ КРАНІВ**

Наведено порівняльний аналіз врахування комбінацій навантаг згідно вітчизняних традицій та за Європейськими стандартами. Запропоновано узагальнений алгоритм попарного розгляду комбінацій навантаг, отримані відповідні аналітичні залежності, проаналізовано обмеження. У алгоритмі передбачено підбір значення мінімальної товщини листа з урахуванням умов місцевої стійкості. Ці аналітичні залежності та алгоритм можуть бути використані при створенні системи норм якості проектування мостових кранів.

Створення системи норм якості проектування мостових кранів пов'язане з важливим науковим та практичним завданням підвищення конкурентоспроможності вантажопідіймальних кранів вітчизняного виробництва. Врахування комбінацій навантаг у розрахунковій моделі є одним з шляхів уточнення та вдосконалення цієї системи норм якості проектування.

На основі розширеного перегляду відомої задачі Гохберга щодо оптимального перерізу коробчастої металокопункції [1], у [2] була обґрунтована принципова можливість створення системи норм якості проектування мостових кранів. У [3], на розвиток [2], було враховано вимоги до жорсткості металокопункцій, у [4] – характеристики кінцевих балок, у [5] – характеристики металокопункцій візків.

Але у жодній з цих статей, продовженням яких є дана, не було розглянуто необхідність врахування багатьох комбінацій навантаг у розрахунковій моделі.

Метою цієї статті є вдосконалення основних розрахункових залежностей, що використовуються при створенні системи норм якості проектування мостових кранів, для врахування комбінацій навантаг на металокопункцію мостового крана.

Згідно вітчизняних традицій [1], для розрахунків мостових кранів можуть бути застосовані як метод допустимих напруг, так і метод граничних станів. Згідно Європейського стандарту [6], для розрахунків мостових кранів (клас розподілу мас MDC1, лінійна залежність між діями навантаг та впливами навантаг) теж може бути використаний не тільки метод граничних станів, а й метод допустимих напруг.

У [1] для кожного з методів наведені наступні комбінації навантаг: багаторазові плавні підймання вантажу та пуск/гальмування механізмів, різке підймання вантажу та пуск/гальмування механізмів, найбільші розрахункові навантаги неробочого стану. При цьому у перших двох випадках дія переважно вертикальних навантаг та спільна дія вертикальних та горизонтальних навантаг розглядаються окремо.

У Європейському стандарті [7], який прийнятий в Україні як [8], для

кожного з методів наведені три групи комбінацій навантаг: регулярні навантаги за нормального експлуатування; регулярні навантаги, поєднані з нерегулярними; регулярні навантаги, поєднані з нерегулярними та надзвичайними. При встановленні комбінацій навантаг розглядається процес експлуатування крана, беручи до уваги його системи керування та нормативні правила експлуатування [6]. Крім того, для однієї та тієї ж комбінації навантаг вивчається декілька конфігурацій крана [6]. Також у [7], [8] додатково передбачено врахування навантаг від перекосів, дефектів шляху, температурних деформацій, відмови приводів, тощо.

Як у [1], так і у [7], [8] наведені основні комбінації навантаг, що мають бути враховані у розрахунках, але загальна кількість комбінацій жорстко не обмежена.

Таким чином, існує два методи розрахунку, для кожного з яких за двома підходами ([1] та [7], [8]) передбачені різні комбінації навантаг та, у загальному випадку, різні коефіцієнти при навантагах та при механічних характеристиках матеріалів. З точки зору визначення критеріїв якості проектування мостових кранів, можна вести мову про чотири способа розрахунків, кожний з яких передбачає окремий набір комбінацій навантаг, що може змінюватись або розширюватись в залежності від конкретних обставин. Співставлення двох кранів за якістю проектування може бути об'єктивним лише за умови, що в обох випадках критерії будуть обчислені за єдиним способом. Це вимагає певного вдосконалення основних розрахункових залежностей, що використовуються при створенні системи норм якості проектування мостових кранів.

Спільним для всіх способів є принцип співставлення розрахункових значень внутрішніх силових факторів, віднесених до відповідних геометричних характеристик перерізу, з розрахунковими значеннями відповідних механічних характеристик матеріалу. Для коробчастої балки, яка, у загальному випадку, згинається у вертикальній та горизонтальній площинах, таке узагальнене співставлення має вигляд:

$$\frac{M_b}{W_b} + \frac{M_r}{W_r} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де, в залежності від способу розрахунку:

M_b , M_r – максимальні узагальнені розрахункові згинальні моменти відповідно у горизонтальній та вертикальній площинах;

W_b , W_r – моменти опору перерізу, що забезпечують опір розрахунковим згинальним моментам, відповідно у горизонтальній та вертикальній площинах;

$[\sigma]$ – узагальнене розрахункове значення механічних характеристик матеріалу (допустимі напруги, розрахунковий опір з відповідними коефіцієнтами, тощо).

Якщо трактувати коефіцієнт φ_a за [2] як:

$$\varphi_a = \frac{W_{\Gamma}}{W_B}, \quad (2)$$

залежність (1), з урахуванням (2), може бути записана у вигляді:

$$\frac{M_B + M_{\Gamma} / \varphi_a}{W_B} \leq [\sigma]. \quad (3)$$

Для визначення φ_a та W_B потрібно два рівняння, що передбачає попарний розгляд комбінацій навантаг. В загальному випадку, значення $[\sigma]$ для двох комбінацій навантаг будуть різними, наприклад, якщо у першому випадку враховується втома, а в другому – наїзд крана на буфер. Тоді замість (3) буде записано два аналогічних рівняння, у яких індекси "1" та "2" вказують на одну комбінацію навантаг з пари:

$$M_{B1} + M_{\Gamma1} / \varphi_a \leq [\sigma_1] \cdot W_B, \quad (4)$$

$$M_{B2} + M_{\Gamma2} / \varphi_a \leq [\sigma_2] \cdot W_B. \quad (5)$$

Якщо розділити рівняння (4) на рівняння (5), після математичних перетворень отримуємо:

$$\varphi_a = \frac{\frac{[\sigma_1]}{[\sigma_2]} \cdot M_{\Gamma2} - M_{\Gamma1}}{M_{B1} - \frac{[\sigma_1]}{[\sigma_2]} \cdot M_{B2}}. \quad (6)$$

Оскільки за визначенням φ_a повинно бути додатнім, з (6) та з характеру навантаження крана слідує, що комбінації навантаг треба комбінувати попарно так, щоб виконувались умови:

$$M_{B1} \geq \frac{[\sigma_1]}{[\sigma_2]} \cdot M_{B2}, \quad (7)$$

$$\frac{[\sigma_1]}{[\sigma_2]} \cdot M_{\Gamma2} > M_{\Gamma1}. \quad (8)$$

Умови (7), (8) можна переписати у вигляді:

$$\frac{M_{B1}}{M_{B2}} \cdot \frac{[\sigma_2]}{[\sigma_1]} \geq 1, \quad (9)$$

$$\frac{M_{\Gamma2}}{M_{\Gamma1}} \cdot \frac{[\sigma_1]}{[\sigma_2]} \geq 1. \quad (10)$$

Оскільки границею між раціональним застосуванням коробчастої та комбінованої конструкції балки є прирівнювання товщини стінки δ_c до мінімальної товщини листа δ_{min} [2], виникає додаткове обмеження на величину φ_a з умови, що товщина поясу δ_n буде не меншою за δ_c :

$$\delta_n \geq \delta_c. \quad (11)$$

З урахуванням залежності [(17), 2], умова (11) після математичних перетворень визначає остаточні обмеження на величину φ_a :

$$0 < \varphi_a \leq \frac{5}{9}, \quad (12)$$

що не протирічить і даним [1]. Перевищення верхньої границі свідчило б, що, в межах даної розрахункової моделі, відповідні горизонтальні навантаги на кран треба зменшити.

Коефіцієнт φ_a , який, з іншого боку, залежить від геометричних параметрів перерізу, включаючи стандартизовані товщини листів δ_n та δ_c , треба приймати за найближчим більшим дискретним значенням з урахуванням залежності [(10), 3].

Після обчислення величини φ_a , для пари комбінацій навантаг, що розглядається, невідомий момент опору може бути визначений з (4):

$$W_B = \frac{M_{B1} + M_{r1} / \varphi_a}{[\sigma_1]}. \quad (13)$$

Тоді, за аналогією з рівнянням [(18), 2], коефіцієнт φ_σ за [3] перетворюється до вигляду:

$$\varphi_\sigma = \sqrt{\frac{M_{B1} + M_{r1} / \varphi_a}{[\sigma_1] \cdot \delta_{min}}}. \quad (14)$$

Цим вдосконалення розрахункових залежностей обмежується. Інші залежності, наведені у статтях [2], [3], [4], [5], можуть бути без змін застосовані для окремих пар комбінацій навантаг.

Наприклад, геометричні характеристики перерізу можуть бути обраховані за [2], [3], на основі залежностей (6), (14) з обмеженнями (9), (10), (12). Зокрема, залежність [(32), 2] для мінімальної площі перерізу може бути записана в компактній формі:

$$F_{min} = k_\phi \cdot \varphi_\sigma \cdot \delta_{min}. \quad (15)$$

Також залишається необхідним обчислювати φ_a та φ_σ ітераційно [4], оскільки на більшість навантаг впливає маса балки, яка, в свою чергу,

залежить від геометричних характеристик перерізу, обчислюваних на основі тих самих φ_a та φ_σ .

Окремо слід зазначити, що призначення величини δ_{min} , від якої, згідно (14), (15), суттєво залежить маса металоконструкції, не має ясного обґрунтування. За [1], ця величина зазвичай становить 5-8 мм. Інші рекомендації, які зустрічав автор, також мають характер рекомендацій конструктивного характеру. Наприклад, за [9] величину δ_{min} з технологічних умов приймають не менш ніж 6 мм, а при роботі в умовах підвищеної корозії – не менш ніж 8 мм. Однак зрозуміло, що, наприклад, для головних балок та для кінцевих балок δ_{min} може не бути однаковим. Для прояснення питання слід більш докладно розглянути фактори, перелічені раніше у [2].

Для мостових кранів, більшість з яких працює у приміщенні, вплив корозії на величину δ_{min} не є принциповим фактором. За умови застосування сучасних антикорозійних заходів ним можна зовсім нехтувати.

Технологічні фактори треба розглянути окремо.

Співвідношення товщин $\delta_c = \delta_{min}$ та δ_n листів, що треба зварювати, обмежується умовами (11), (12) та рівнянням (2). Воно може змінюватись в межах від одного до нескінченності (якщо горизонтальні навантаги відсутні зовсім, чого на практиці бути не може). Звичайно, це співвідношення буде обмежено технологічними умовами. Але безпосередньо на величину δ_{min} таке обмеження не впливає.

Величина δ_{min} з точки зору технологічності в першу чергу буде обмежена найменшою товщиною листів, що можуть бути зварені, яка на практиці становить приблизно від 1 мм (при зварюванні навіть напівавтоматом) та вище.

Залишається головний фактор, який для мостових кранів обмежує величину δ_{min} – місцева стійкість. Тоді значення δ_{min} може бути не фіксованим за [1] з метою отримання простого аналітичного рішення, а також може бути варійованим параметром, якщо буде виконуватись перевіряння роботоспроможності конструкції за умовою місцевої стійкості. При цьому додаткова процедура чисельної оптимізації може бути замінена простим дискретним перебиранням значень δ_{min} , що передбачені стандартами та не перевищують рекомендованих у [1] та [9] величин. Наприклад, дискретне перебирання може здійснюватись у інтервалі від 2 мм до 8 мм, але у разі необхідності верхня границя може бути збільшена.

Відповідний алгоритм визначення критеріїв якості проектування мостового крана, пов'язаних з масою елементів, з урахуванням попарного перебору комбінацій навантаж наведений на рис. у вигляді логічної діаграми.

Перебирання елементів крана та їх вузлів у послідовності взаємодії (зокрема, опирання) дає можливість уникнути додаткових ітерацій.

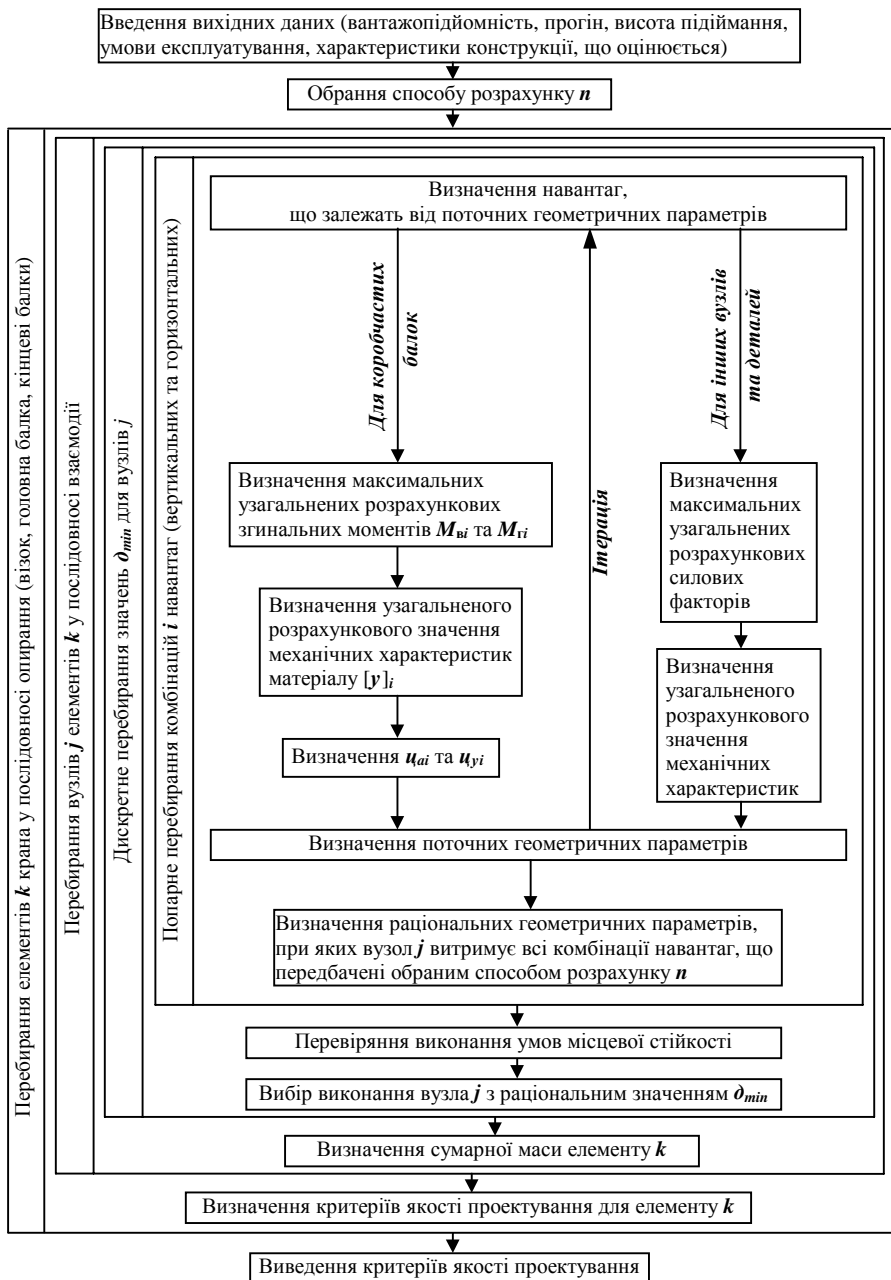


Рис. Логічна діаграма алгоритму визначення критеріїв якості проектування

При дискретному перебиранні значень δ_{min} відкидаються всі варіанти, для яких не виконується хоча б одна з умов місцевої стійкості, а серед інших обирається такий, для якого значення F_{min} за (15) буде найменшим.

Комбінації навантаг доцільно перебирати починаючи з пари, для якої є найбільшими серед інших відповідні значення часткових розрахункових моментів опору w_B та w_r :

$$w_B = \frac{M_{B1}}{[\sigma_1]}, \quad (16)$$

$$w_r = \frac{M_{r2}}{[\sigma_2]}. \quad (17)$$

Для коробчастих балок поточні геометричні параметри визначаються з φ_a та φ_σ за залежностями [3], для інших вузлів та деталей – за відповідними узагальненими умовами міцності. Кількість ітерацій доцільно обмежувати за відносною зміною навантаг, що залежать від поточних геометричних параметрів.

Таким чином, розроблені розрахункові залежності та алгоритм дають можливість попарного врахування комбінацій навантаг на металоконструкцію мостового крана. У перспективі вони можуть бути використані при створенні системи норм якості проектування мостових кранів.

Список літератури: 1. Справочник по кранам: в 2 т. – Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / Брауде В.И., Гохберг М.М. и др.; Под общ.ред. М.М.Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 536 с. 2. Рягин С.Л. Теоретическое обоснование нормирования качества проектирования металлоконструкций мостовых кранов // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – Харків, 2002. – Вип.1(5) - С.322-332. 3. Рягин С.Л. Врахування підвищених вимог до жорсткості при нормуванні якості проектування металоконструкцій мостових кранів // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2003. – №16. – С.7-13. 4. Рягин С.Л. Учет характеристик концевых балок при нормировании качества проектирования металлоконструкций мостовых кранов // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – Харків, 2003. – Вип.2(7) - С.77-86. 5. Рягин С.Л. Врахування характеристик металоконструкцій візків при створенні системи норм якості проектування мостових кранів // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – №18. – С.53-61. 6. EN 13001-1:2004 E. Crane safety – General design – Part 1: General principles and requirements. – CEN. – 28 p. 7. prEN 13001-2:1997 D. Kransicherheit – Konstruktion allgemein – Teil 2: Lasteinwirkungen. – CEN. – 61 s. 8. ДСТУ prEN 13001-2:2001. Безпечність вантажопідіймальних кранів. Загальні положення конструювання. Частина 2. Вплив навантаг. – Введ. 01.07.2003. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004. – 37 с. 9. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – Л.: Машиностроение, 1969. – 520 с.

Надійшла до редколегії 31.01.08